ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

NATURAL SCIENCE

УДК 581.526.42:58.002 (470.64)
ББК 28.081 (2Рос.Каб)
Т 49

Тлупова Ю.М.
Кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории геоботанических исследований института экологии горных территорий Кабардино-Балкарского научного центра РАН, тел. 89289143308, e-mail: yulia77@rambler.ru
Темботов Р.Х.
Инженер-исследователь лаборатории почвенно-экологических исследований института экологии горных территорий Кабардино-Балкарского научного центра РАН, тел. 89280810907, e-mail: him_lab@mail.ru
Ахомготов А.З.
Кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории разнообразия позвоночных института экологии горных территорий Кабардино-Балкарского научного центра РАН, тел. 89034975087, e-mail: Akhomgotov@mail.ru

Возможность применения космических методов исследования для оценки состояния лесных экосистем горных территорий на примере Кабардино-Балкарии

(Рецензирована)

Аннотация
На основе анализа литературных источников рассмотрены возможности современных спутниковых систем дистанционного зондирования в интересах задач экологического мониторинга лесных экосистем горных территорий. Представлены возможности применения космических снимков Landsat 5 Thematic Mapper для определения породного состава и площади лесов, наличия рубок.
Ключевые слова: *данные дистанционного зондирования Земли, лесные экосистемы, горные территории, Landsat.*

Tlupova Yu.M.
Candidate of Technical Sciences, Scientist of Laboratorty of Geobotanic Researches, Institute of Ecology of Mountain Territories, Kabardino-Balkarian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, ph. 89289143308, e-mail: yulia77@rambler.ru
Tembotov R.Kh.
Engineer-researcher of Laboratory of Soil-Ecologic Researches, Russian Academy of Sciences, ph. 89280810907, e-mail: him_lab@mail.ru
Akhomgotov A.Z.
Candidate of Biology, Scientist of Laboratory of Vertebrates Diversity, Institute of Ecology of Mountain Territories, Kabardino-Balkarian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, ph. 89034975087, e-mail: Akhomgotov@mail.ru

The possibility of using space research methods to assess the condition of forest ecosystems in mountain areas of Kabardino-Balkaria

Abstract
In this paper based on the literature analysis, the potentialities of modern satellite remote sensing systems are considered to carry out the environmental monitoring of forest ecosystems in mountain areas. The authors show an opportunity of using satellite images of Landsat 5 Thematic Mapper to determine the species composition, the area of forests and the availability of logging.
Key words: *data on remote sensing of the Earth, forest ecosystems, mountain territories, Landsat.*

В настоящее время одной из важнейших исследовательских задач является оценка состояния лесных ценозов дистанционными методами. Применение данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) является особенно актуальным для труднодоступных горных территорий, так как они способствуют уменьшению трудоемкости и увеличению степени объективности распознавания характеристик лесных ценозов.

Данные дистанционного зондирования Земли – совокупность сведений о поверхности Земли и объектах, расположенных на ней или в ее недрах, полученные в процессе съемок с помощью аппаратуры космического базирования, позволяющей получать изображения в одном или нескольких участках электромагнитного спектра.

Основой дистанционных методов исследования являются спектральные характеристики природных образований. При этом практический интерес для съемки имеет отраженная энергия – отношение количества отраженной и рассеянной вверх радиации к плотности потока падающей прямой радиации Солнца. Она зависит у древесной растительности от строения клеток мезофилла хвои и листьев. На красную зону спектра (0,62–0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75–1,3 мкм) – максимум отражения энергии клеточной структурой листа. Высокая фотосинтетическая активность ведет к более низким значениям коэффициента отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделить растительность от прочих природных объектов [1, 2].

Оценка факторов возмущающего воздействия на растительность – приоритетная составляющая спутникового мониторинга наземных экосистем, поскольку такого рода воздействия в значительной мере определяют потоки углерода между наземными экосистемами и атмосферой. Спутниковые изображения позволяют определить участки леса, нарушенные вследствие антропогенного воздействия, основные факторы воздействия, выделить лесопокрытые площади, выявить следы лесоразработок и пожаров, а также сельскохозяйственного использования территорий. На основе ДДЗ можно создать информационное обеспечение, необходимое для организации лесного хозяйства и многоцелевого лесопользования. Не менее важным является контроль мест проведения рубок ухода и санитарных рубок не реже 1 раза в 2 года, сравнивая данные о фактических местах сплошнолесосечных вырубок, полученных на основе дешифрирования космических изображений с планами рубок. Это обусловлено тем, что как показывает практика лесопользования, нередко органами лесного хозяйства допускаются отступления от утвержденных планов рубок [1, 3].

С использованием космических снимков высокого пространственного разрешения можно определить породный состав лесов. Для получения достоверных данных вместе со снимками необходимо иметь набор обучающих эталонов – наземных площадок с известным породным составом для «обучения» алгоритма распознавания в начале работы и проверки итогов в конце. Отдельные группы деревьев и группы пород определяются с разным уровнем достоверности. Легко отделить друг от друга лиственные породы и темнохвойные. Сложнее лиственные от светлохвойных. Близкие по спектральным характеристикам ель и пихту, березу и осину, сосну и лиственницу разделить невозможно [4].

Для того чтобы отобразить разнообразие растительного покрова, желательно использовать сцены за различные сезоны года. Так зимние сцены позволяют выделить типы растительного покрова елового второго яруса под пологом мелколиственных пород, весенние сцены – разделить сосновые и еловые леса. Наиболее полную информацию содержат изображения, полученные в сентябре, когда структура спектра хорошо отображает различия в степени пожелтения-покраснения от породного состава и местоположения древостоев [5].

Следует отметить, что, используя ДДЗ, нельзя провести оперативный мониторинг лесопокрытой территории для выявления несанкционированных рубок в текущий момент времени. Во-первых, получение космического снимка для обработки в лучшем случае требует несколько часов времени при условии, что есть сеть станций для приема спутниковой информации, что весьма затруднительно. Другим фактором, затрудняющим оперативный мониторинг хозяйственной деятельности в лесах, является постоянная высокая облачность над основными лесными территориями России. Из-за значительного количества облаков каждый конкретный участок бывает покрыт безоблачной съемкой лишь несколько раз в году. В связи с этим не стоит говорить о выявлении незаконных лесопользований в реальном времени [6].

Накопленные к настоящему времени архивы данных спутников Landsat-TM и ETM открывают уникальную возможность использования космоснимков высокого пространственного разрешения для оценки масштабов вырубок лесов. Разрабатываются методы детектирования и классификации изменений в лесных массивах на основе анализа разновременных спутниковых данных Landsat. Одним из важных этапов использованных методов ДДЗ является построение карт лесов и других типов земного покрова на основе классификации спутниковых данных. Получаемые маски лесов различных типов используются для взаимной радиометрической нормализации разновременных изображений с целью компенсации негативного влияния различий в атмосферных условиях, в фенологическом состоянии растительности во время спутниковой съемки [7, 8].

Применение космических снимков в картографировании позволяет получить картографический материал с разреженной нагрузкой, большим пространственным охватом, отобразить на карте объекты с указанием их специальных характеристик, которых нет на топографических материалах. Следует отметить, что, чем более комплексно предполагается использовать снимок, тем более выгодным становиться его приобретение. Составлению экологических карт лесопокрытой территории предшествует тщательное изучение растительного покрова, выявление связей растительных сообществ с условиями среды, рельефом, режимом увлажнения. Применение геоинформационных систем способствует более углубленному изучению характера распределения растительных сообществ на фоне условий среды [6, 9, 10].

Характерным признаком растительности и ее состояния, как было сказано выше, является спектральная отражательная способность, отличающаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. При дешифрировании данных спутниковой съемки используются значения яркостей в каналах и построенные на их основе индексы. Индексы отражают особенности преобразования солнечной энергии ландшафтных покровов; степень неравновесности поглощения энергии в разных зонах спектра – энтропия Кульбака; биологическую продуктивность – NDVI, TVI, RVI, gNDVI; содержание влаги в растительности – LMI, NDWI. Наиболее популярный и часто используемый вегетационный индекс – NDVI [11, 12].

Для растительности NDVI принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем он выше. Для зеленой растительности – от 0,2 до 0,8. Следует отметить, что вегетационные индексы дают только относительные оценки свойств растительного покрова, которые могут быть интерпретированы и с привлечением полевых данных пересчитаны в абсолютные. Значения NDVI для разных типов объектов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значение NDVI в зависимости от типа объекта

Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0,1	0,5	0,7
Разреженная растительность	0,1	0,3	0,5
Открытая почва	0,25	0,3	0,025
Облака	0,25	0,25	0
Снег и лед	0,375	0,35	-0,05
Вода	0,02	0,1	-0,25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0,3	0,1	-0,5

На основе ДДЗ Земли можно получить оценки чистой биологической продуктивности, эксергии – доли солнечной энергии, затраченной на транспирацию и производство биологической продукции. Данные характеристики отражают энергетическое состояние Земли в момент съемки в различных спектральных диапазонах, что необходимо учитывать при планировании лесного хозяйства. В целом леса имеют большую эксергию и сильные различия в доле энергии, идущей на производство продукции. Зарастающие поля характеризуются высокой долей энергии, идущей на производство продукции. Хвойные породы характеризуются большой эксергией и меньшими затратами энергии на производство продукции, чем широколиственные и мелколиственные леса [13].

Исследования, посвященные изучению лесопокрытой территории Северного Кавказа с использованием ДДЗ, нам не известны. В связи с этим изучение лесов региона, в частности, Кабардино-Балкарии, с помощью космических методов, начатые в Институте экологии горных территории КБНЦ РАН, весьма актуальны.

В качестве материалов исследования использовались космические снимки спутников Landsat 5-го поколения. Мультиспектральные сканеры Landsat позволили оценить величину отраженной радиации в полосе длин волн 450–2350 нм с пространственным разрешением 30×30 – съемочные каналы 1–5,7 и температурным каналом 10120–14500 нм с разрешением 60×60 м – шестой канал. Для построения цифровой модели рельефа нами использовались данные радарной топографической съемки (SRTM), имеющей пространственное разрешение 90 м.

При дешифровке спутникового изображения Landsat 5 Thematic Mapper за 31.07.2007 г. с разрешением 30 м в пределах лесного фонда КБР определены группы преобладающих пород, площади разных типов лесов. Выделены непокрытые лесом (вырубки) и нелесные земли (сельскохозяйственные, водные объекты и т.д.). Дистанционные методы исследования проводились параллельно с полевыми работами. Для оценки состояния лесов республики на 2007 г. дешифрировали 2 участка: 1-й – бассейны рек Нальчик, Черек; 2-й – бассейны рек Баксан, Малка.

Для классификации изучаемой территории применяли пошаговую дихотомическую классификацию на множестве значений яркостей каналов в дистанции Эвклида в программе Fracdim. В результате получили 8 уровней классификации. Отображение изучаемых территорий на 4-м уровне дихотомической классификации (рис. 1, 2) показывает степень развития растительности. Наиболее темным тонам соответствует более развитый растительный покров (широколиственные, хвойно-мелколиственные леса), наиболее светлые тона характеризуют ледники, открытые водные объекты, дороги.

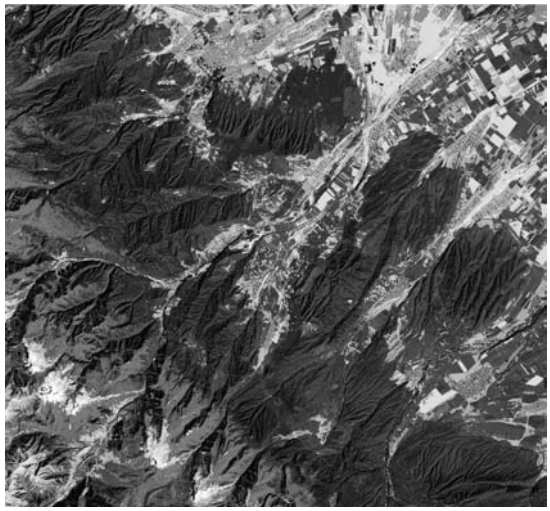

Рис. 1. Отображение территорий бассейнов рек Нальчик, Черек
на 4-м уровне классификации

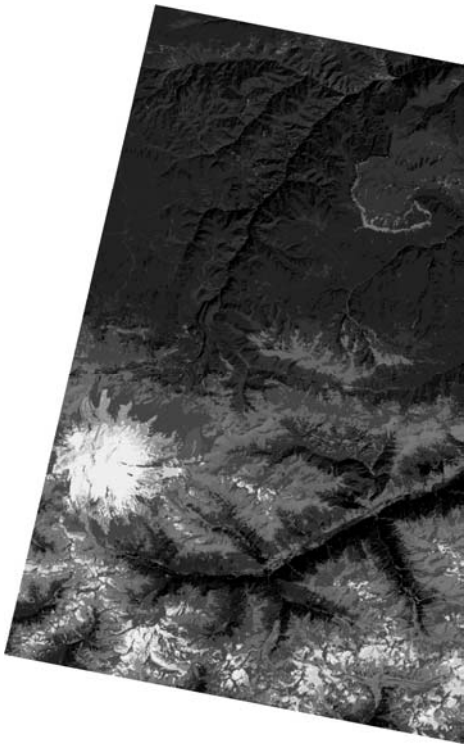

Рис. 2. Отображение территорий бассейнов рек Малка, Баксан
на 4-м уровне классификации

Для выделения лесной растительности при первичной классификации спутникового снимка также использовали значения вегетационных индексов NDVI, TVI, VI, рассчитанные для каждого пикселя. На рисунках 3, 4 представлены значения NDVI, TVI, VI на 3-м уровне классификации для изучаемых территорий.

Для бассейнов рек Малка, Баксан высокие значения индексов NDVI, TVI, VI первого и второго классов характерны для лесной растительности (рис. 3). Для бассейнов рек Черек, Нальчик – это 2-й, 3-й, 4-й классы (рис. 4).

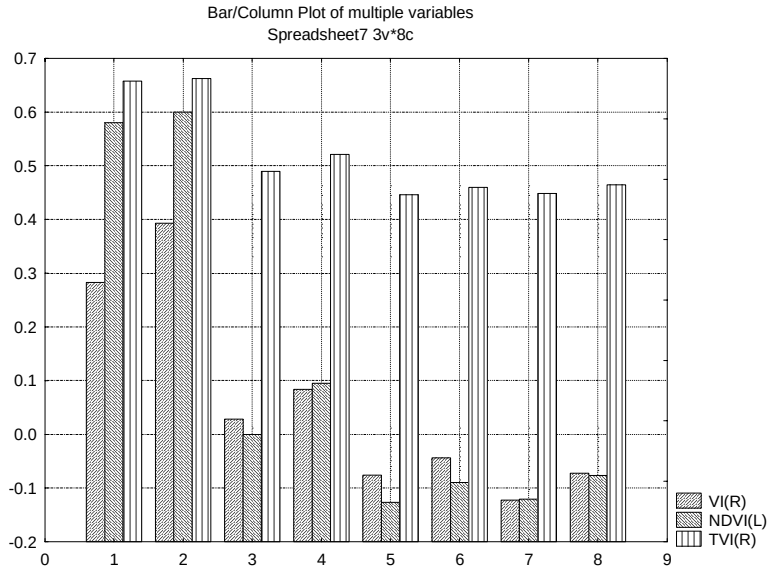

Рис. 3. Значения вегетационных индексов на 3-м уровне классификации для бассейнов рек Баксан, Малка

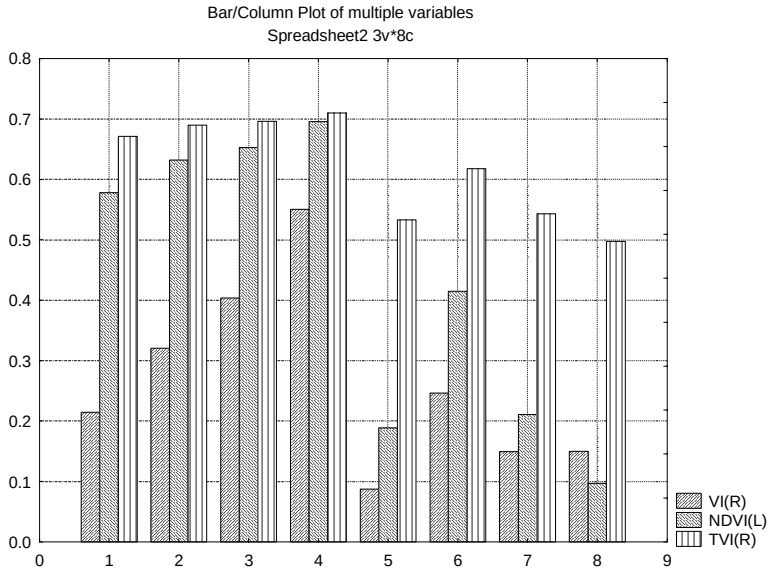

Рис. 4. Значения вегетационных индексов на 3-м уровне классификации бассейнов рек Нальчик, Черек

В программе Statistica 7 с использованием пошагового дискриминантного анализа данные полевых измерений состояния лесной растительности интерполировали на всю территорию на основе дистанционной информации. Площади буковых, грабовых, дубовых, сосновых, березовых лесов рассчитывали попиксельно.

Согласно предварительным данным лесистость КБР по состоянию на 2007 г. составляет 16,9%.

Соотношение основных типов лесов следующее:

0,24 (сосняки) : 0,44 (березняки) : 1 (букняки) : 0,71 (грабинники) : 0,36 (дубняки).

Примечания:

1. Сухих В.И. Аэрокосмические методы исследования в лесном хозяйств и ландшафтном строительстве. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2005. 392 с.
2. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. М., 2001. 264 с.
3. Барталев С.С. Разработка методики региональной экологической оценки состояния лесов по данным спутниковых наблюдений: автореф. дис. … канд. техн. наук. М., 2006. 21 с.
4. Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во НУМЦ, 2002. С. 143-302.
5. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3(4). С. 28-32.
6. Маслов А.А. Космический мониторинг лесов России: современное состояние и перспективы // Лесной бюллетень. 2006. № 31. С. 12-17.
7. Барталев С.А., Курятникова Т.С., Стибиг Х.Ю. Методы использования временных серий спутниковых изображений высокого пространственного разрешения для оценки масштабов и динамики вырубок таежных лесов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ИКИ РАН, 2004. С. 217-227.
8. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. URL: http://www.gislab.ru
9. Горчаковский П.Л., Иванова Л.А. Оценка состояния и прогноз антропогенной динамики растительного покрова особо охраняемых природных территорий на основе фитоэкологического картографирования // Экология. 2008. № 4. С. 243-252.
10. Данилова И.В. Методика составления карт лесных территорий на основе данных космической съемки (на примере Красноярского края) // География и природные ресурсы. 2007. № 4. С. 140-145.
11. Аксенов Д.Е., Ярошенко А.Ю. Космиче-

References:

1. Sukhikh V.I. Aerospace methods of research in forestry and landscape building. Yoshkar-Ola: MarGTU Publishing House, 2005. 392 p.
2. Kashkin V.B., Sukhinin A.I. Remote probing of the Earth from space. Digital image processing. M., 2001. 264 p.
3. Bartalev S.S. The development of the technique of regional ecological estimation of woods condition according to satellite data: Dissertation abstract for the Candidate of Technical Sciences degree. M., 2006. 21 p.
4. Puzachenko Yu.G., Diyakonov K.N., Aleshchenko G.M. The variety of landscape and methods of its measurement // Geography and biodiversity monitoring. M.: NUMTS Publishing House, 2002. P. 143-302.
5. Cherepanov A.S., Druzhinina E.G. Spectral properties of vegetation and vegetative indexes // Geomatics. 2009. No. 3(4). P. 28-32.
6. Maslov A.A. Space monitoring of woods of Russia: a current state and prospects // The Forest Bulletin. 2006. No. 31. P. 12-17.
7. Bartalev S.A., Kuryatnikova T.S., Stibig Kh.Yu. The methods of using temporary series of satellite pictures of the high spatial permission for the estimation of scales and dynamics of the taiga deforestation // Modern problems of remote probing of the Earth from space. M.: IKI of the RAN, 2004. P. 217-227.
8. Geographical information systems and remote probing. URL: http:// www.gislab.ru
9. Gorchakovskiy P.L., Ivanova L.A. The estimation of condition and the forecast of anthropogenous dynamics of a vegetative cover of especially protected natural territories on the basis of phytoecological mapping // Ecology. 2008. No. 4. P. 243-252.
10. Danilova I.V. The methods of wood territories mapping on the basis of space photography data (on the example of the Krasnoyarsk Territory) // Geography and natural resources. 2007. No. 4. P. 140-145.
11. Aksenov D.E., Yaroshenko A.Yu. Space

ские снимки для задач лесного хозяйства // Земля из космоса. М., 2009. Вып. 1. С. 10-16.

12. Козлов Д.Н. Инвентаризация ландшафтного покрова методами пространственного анализа для целей ландшафтного планирования // Ландшафтное планирование. Общие основания. Методология, технология: тр. междунар. шк.-конф. М.: Геогр. фак. МГУ, 2006. С. 117-137.
13. Сандлерский Р.Б. Оценка потенциальной биологической продуктивности южнотаежных ландшафтов по данным дистанционного зондирования // Ландшафтное планирование: общие основания. Методология, технология: тр. междунар. шк.-конф. М.: Геогр. фак. МГУ, 2006. С. 217-221.

photographs for forestry problems // The Earth from space. M., 2009. Iss. 1. P. 10-16.

12. Kozlov D.N. The inventory of a landscape cover by methods of the spatial analysis for landscape planning // Landscape planning. General bases. Methodology, technology: proceedings of the international shk.-conf. M.: Geography faculty of the MSU, 2006. P. 117-137.
13. Sandlerskiy R.B. The estimation of potential biological productivity of the South taiga landscapes according to remote probing data // Landscape planning: general bases. Methodology, technology: proceedings of the international shk.-conf. M.: Geography faculty of the MSU, 2006. P. 217-221.